



УДК 621.313

## ОБЗОР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

## OVERVIEW OF INTELLIGENT DIAGNOSTIC SYSTEM OF ELECTRIC EQUIPMENT

**Казаков Максим Сергеевич**, студент каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [nikita21.07.19944@mail.ru](mailto:nikita21.07.19944@mail.ru), Тел.: +7(999)559-28-38.

**Давиденко Ирина Васильевна**, профессор каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [inguz21@yandex.ru](mailto:inguz21@yandex.ru), Тел.: +7(922)619-19-88.

**Maxim S. Kazakov**, student, Department «Electric cars», Ural Federal University named after the first Russian President Boris Yeltsin, Russia, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [nikita21.07.19944@mail.ru](mailto:nikita21.07.19944@mail.ru), Tel.: +7 (999) 559-28-38.

**Irina V. Davidenko**, Prof., Department «Electric cars», Ural Federal University named after the first Russian President Boris Yeltsin, Russia, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [inguz21@yandex.ru](mailto:inguz21@yandex.ru), Tel.: +7(922)619-19-88.

**Аннотация:** В данной статье приведен обзор интеллектуальных систем диагностирования электрооборудования и критерии их сравнения. Представлены основные функции систем и опыт их разработки и внедрения.

**Abstract:** In this article, we presented an overview of intelligent diagnostic system of electric equipment and criteria for their comparison. We have listed the main features of systems and the experience of their development and implementation.

**Ключевые слова:** интеллектуальная система диагностирования; электрооборудование; трансформаторы.

**Key words:** intelligent diagnostic system; electrical equipment; transformers.

Отказ электрооборудования (ЭО) может привести к аварии в энергосистеме с масштабными последствиями. Для поддержания хорошего уровня надежной работы оборудования необходимо его качественное техническое обслуживание, а также своевременное диагностирование возможных дефектов. Интеллектуальные системы диагностики (ИСД) электрооборудования предназначены для контроля и анализа его технического состояния, выработки решения о необходимых операциях технического обслуживания и ремонта (ТОиР) ЭО на основе этого анализа, а также предупреждения аварийных ситуаций на ранней стадии. Целесообразность внедрения ИАС диктуется аккумулярованием знаний экспертов в области диагностирования ЭО, а также продлением срока службы оборудования путем прогнозирования дефекта и своевременного проведения ТОиР. На данный момент на отечественном рынке существует несколько ИСД электрооборудования, которые отличаются друг от друга областью решаемых задач, используемыми методами анализа, и конечно, организацией и содержанием базы знаний. Ниже рассматриваются ИСД электрооборудования, размещенном на подстанциях электросетей. В

статье предлагаются критерии сравнения ИСД, специализированных для силовых трансформаторах, как наиболее ответственном и дорогим оборудовании. Такой обзор отечественных и зарубежных ИСД ЭО был проведен в 2009 году в источнике [1], где было рассмотрено 16 систем. Ряд систем, находившихся тогда еще в стадии разработки, в тот обзор не вошли. С тех пор одни системы перестали поддерживаться разработчиками и ушли с рынка, другие продолжали совершенствоваться и расширять свой функционал, например, такие как: автоматизированная система оценки состояния силовых трансформаторов «Диагностика+» [2] разработанная Ивановским государственным энергетическим университетом и экспертно-диагностическая и информационная система управления техническим обслуживанием высоковольтного оборудования (ЭДИС) «Альбатрос» [3] разработана специалистами Уральского федерального университета и Свердловского филиала ТГК-9.

Кроме того, в настоящее время на предприятиях энергетики внедрены новые разработки:

- система «СМТО»[4] разработана компанией ООО «АСУ-ВЭИ»;

- система "НЕВА-АСКДТ"[5] разработана научно-производственной фирмой НПФ "ЭНЕРГОСОЮЗ" для трансформаторов класса напряжения 10-750кВ мощностью от 250кВА до 1250МВА;
- система "ЭСКИСО"[6] разработана филиалом Московского энергетического института города Смоленск;
- система "ВЕЛЕС"[7] разработана ООО "Мониторинг и автоматика";
- система "ЭСМДУ-ТРАНС"[8] производство ПАО "ЗТР";
- система управления активами предприятия «СУПА»[9] (реализованная в двух вариантах: на базе САП-3 и С1) разработана холдингом МРСК.

Возможно, скоро в энергокомпаниях будут использоваться новые системы, которые были созданы недавно и сейчас проходят стадию опытной эксплуатации [10,11].

У потенциальных пользователей ИСД ЭО возникают вопросы, как выбрать нужную систему. Мы предлагаем сравнивать системы такого типа по следующим критериям:

- виды оборудования, по которым выполняется оценка технического состояния;
- тип базы знаний (БЗ);
- тип системы сбора данных;
- используемые виды измерений и набор контролируемых параметров;
- используемый при анализе набор диагностических признаков и критериев;
- выполняемые задачи;
- время и стадия разработки, опыт работы;
- количество внедрений.

В таблицах 1 и 2 рассмотрены наиболее конкурентно-способные на сегодня системы, выполняющие диагностирование ЭО электрооборудования и имеющие достаточный опыт разработки и внедрения.

По типу системы сбора данных ИСД можно разделить на динамические (с поступлением данных в режиме on-line от датчиков систем мониторинга) и статические (с периодическим вводом значений контролируемых параметров, измеренных приборами во время планово-профилактических или дополнительных видов измерений). Динамические системы часто специализированы на одном виде оборудования и контролируют небольшое количество параметров, так как номенклатура измеряемых параметров on-line датчиками меньше, чем у приборов. Динамические системы, имея меньшее количество параметров для анализа, обладают меньшими возможностями во всесторонней оценке

технического состояния ЭО. Зачастую, их анализ ограничен тестовым этапом диагностики, когда выдается заключение о выходе контролируемых параметров за регламентированный диапазон. Статические системы, в большей мере, проводят глубокую диагностику, когда заключение выдается в виде вида дефекта и степени его развития. Часть статических систем может на основании поставленного диагноза выдавать рекомендации по необходимым операциям ТОиР,

По типу организации БЗ системы можно разделить на оболочки и заполненные БЗ. Оболочка позволяет пользователям создавать, изменять процедурные и декларативные знания ИСД. При этом ответственность за выводы ИСД перенесена на пользователей. БЗ в виде оболочки имеется только у «Диагностика+». У ЭДИС «Альбатрос» есть возможность менять только декларативные знания. Например, предельно-допустимые значения контролируемых параметров.

Один из важных показателей ИСД – виды оборудования, по которым система способна провести оценку технического состояния.

Создать СИД меньше чем за 3-5 лет невозможно, поэтому важно знать начало ее разработки. Немаловажным показателем является стадия разработки (опытный или коммерческий образец) и опыт внедрения системы. Чем дольше опыт внедрения и больше количество внедрений, тем система она надежнее работает, становится более дружелюбной к пользователю и универсальной, богатеет ее база знаний.

В таблице 2 проведено сравнение аналитических возможностей ИСД, так как, по нашему мнению, это самый ценный критерий сравнения систем. Так как в таблицу 1 для сравнения со статическими ИСД, были включены динамические ИСД, специализированные на силовых трансформаторах, то в таблице 2 отражены возможности систем по диагностированию силовых трансформаторов. Чем больше видов измерений используется в ИСД для оценки состояния трансформатора (СТ), тем точнее будет заключение о его состоянии. Для диагностирования СТ могут быть использованы следующие виды измерений: ХАРГ (хроматографический анализ газа растворенного в масле); ФХАМ (физико-химический анализ масла); характеристики изоляции; опыт ХХ (холостого хода); измерение  $Z_{кз}$  (полное сопротивление короткого замыкания); а так же специальные измерения (тепловизионный и виброконтроль, измерение частичных разрядов, коэффициент трансформации и пр).

Таблица1-Современные ИСД электрооборудования

Название диагностической системы	Виды оборудования						Тип БЗ		Опыт внедрения				
	Силовые трансформаторы	Высоковольтные вводы	Измерительные трансформаторы	Выключатели	ОПН, разрядники, кабели	Газовое реле	Заполненная база знаний	Оболочка базы знаний	Коммерческие образцы	Опытные образцы	Динамическая система	Начало внедрений	Количество внедрений
"Диагностика+" ИГУ	+	+	+	+	+		+	++	+			1993	100
"СМТО" ООО "АСУ-ВЭИ"	+						+		+		+	2003	123
"ЭДИС Альбатрос" УрФУ	+	+	+	+	+	+	+	+	+			1991	400
"НЕВА-АСКДТ" НПФ "ЭНЕРГОСОЮЗ"	+	+					+		+		+	2001	более 100
"ЭСКИСО" МЭИ г. Смоленск	+						+			+		2015	2
"ВЕЛЕС" ООО "Мониторинг и автоматика"	+	+					+		+		+	2001	200
"ЭСМДУ-ТРАНС" ПАО "ЗТР"	+	+					+		+		+	2006	более 200
"СУПА" Холдинг МРСК	+	+	+	+	+		+		+			2012	более 500

Общеизвестно, что ХАРГ является одним из наиболее важных и эффективных диагностических методов для маслонаполненного оборудования, позволяющий получить до 60% информации о его состоянии. В отечественной и зарубежной практике применяется несколько методов идентификации дефектов по АРГ, обладающих разной эффективностью распознавания. Поэтому важно сравнивать системы по используемым методам интерпретации АРГ. Современные, статические ИСД более или менее успешно выполняют следующий круг задач: анализ повреждаемости; ранжирование по техническому состоянию; расчет рисков; планирование ТОиР (технического осмотра и ремонта); выработка рекомендаций по ТОиР; интерпретация данных; справочная система; экономическая оценка и ранжирование. С расширением функционала и диагностируемых видов оборудования ИСД растет их

вовлеченность в процесс эксплуатации ЭО: происходит качественное изменение характера труда, изменение структуры распределения рабочего времени, снижение количества ошибок персонала. С увеличением мощности БЗ таких систем, повышаются уровень обобщения эксплуатационной информации и степень сложности решаемых задач, а значит, растет влияние на работу предприятия в целом за счет повышения надежности и качества принимаемых решений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Давиденко И.В. Диссертация на соиск.степ. д.т.н. Разработка системы многоаспектной оценки технического состояния и обслуживания высоковольтного маслонаполненного электрооборудования 2009.

Таблица. 2. Аналитические возможности ИСД ЭО

Название диагностической системы	Диагностика по результатам контроля параметров силовых трансформаторов							Выполняемые задачи							
	ХАРГ	ФХАМ	Характеристики изоляции	Опыт XX, ВАР	Измерение Ром. Обмоток	Измерение Zкз	Другие виды измерений	Анализ повреждаемости	Ранжирование по тех. состоянию	Расчет рисков	Планирование ТОиР	Интерпретация данных	Справочная система	Экономическая оценка	Выработка рекомендация ТОиР
"Диагностика+" ИГУ	++*	+	+	+	+	+	+(2)		+		+	+	+		+
"СМТО" ООО "АСУ-ВЭИ"		+	+	+	+										
ЭДИС Альбатрос УрФУ	+++ ^	+	+	++	++	++	4	+	+	+	+	+		+	+
"НЕВА-АСКДТ" НПФ "ЭНЕРГОСОЮЗ"	+	+	+				1								
"ЭСКИСО" МЭИ Смоленск	+		+		+										
"ВЕЛЕС" ООО"Мони- торинг и автоматака"		+	+												
"ЭСМДУ- ТРАНС" ПАО "ЗТР"	++*	+	+		+	+	1		+						
"СУПА" Холдинг МРСК	++	+	+	+	+		1		+	+	+			+	
+- отечественные методы; *- зарубежный опыт; ^-ноу-хау авторов															
+-тестовая диагностика; ++ - глубокая диагностикаж (-)- колличество измерений															

2. Информационный портал URL: <http://www.transform.ru/diagnostika.shtml> (дата обращения 20.01.2016).

3. Сайт системы ЭДИС Альбатрос URL: <http://www.edis.guru> (дата обращения 20.01.2016).

4. Сайт компании ООО «АСУ-ВЭИ» URL: <http://www.asu-vei.ru/production/smtol/> (дата обращения 20.01.2016).

5. Сайт фирмы «ЭНЕРГОСОЮЗ» URL: <http://www.energsoyuz.spb.ru/> (дата обращения 20.01.2016).

6. Утепов А.Е., Карпеченков Н.Д., Чернышев В.А. Диагностическая система ЭСКИСО. 7. Сайт ООО Мониторинг и автоматика URL: <http://ma-energo.ru/napravleniya-devyatelnosti/> (дата обращения 20.01.2016)

8. Сайт ПАО Запорожтрансформатор URL: [www.ztr.com.ua](http://www.ztr.com.ua) (дата обращения 20.01.2016).

9. Сайт системы контроля и управления энергетическим комплексом «Форга-Энерго» URL: <http://phorga-energo.ru/index.php?src=main.php> (дата обращения 10.05.2016).

10. «Интеллектуальная система управления жизненным циклом электросетевого оборудования», Хальясмаа А.И. URL: <http://lib.omgtu.ru/> (дата обращения 10.05.2016).

11 «Экспертная система диагностирования силовых трансформаторов систем электроснабжения», Головкин С.В. URL: <http://cyberleninka.ru/> (дата обращения 10.05.2016).